

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



23 SEP 2004

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
9. Oktober 2003 (09.10.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/083873 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **G11C 11/16**,
H01F 41/30, 41/32, 10/32

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE03/00775

(22) Internationales Anmeldedatum:
11. März 2003 (11.03.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102 14 159.2 28. März 2002 (28.03.2002) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): **INFINEON TECHNOLOGIES AG** [DE/DE]; St.-
Martin-Str. 53, 81669 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **KLOSTERMANN**,

Ulrich [DE/DE]; Sudetenstr. 7, 94227 Zwiesel (DE).
RUEHRIG, Manfred [DE/DE]; Am Mühlwehr 4, 90542
Eckental (DE).

(74) Anwalt: **KOTTMANN, Dieter**; Müller, Hoffmann &
Partner, Patentanwälte, Innere Wiener Str. 17, 81667
München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): CN, JP, KR, US.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent
(DE, FR, GB, IE, IT, NL).

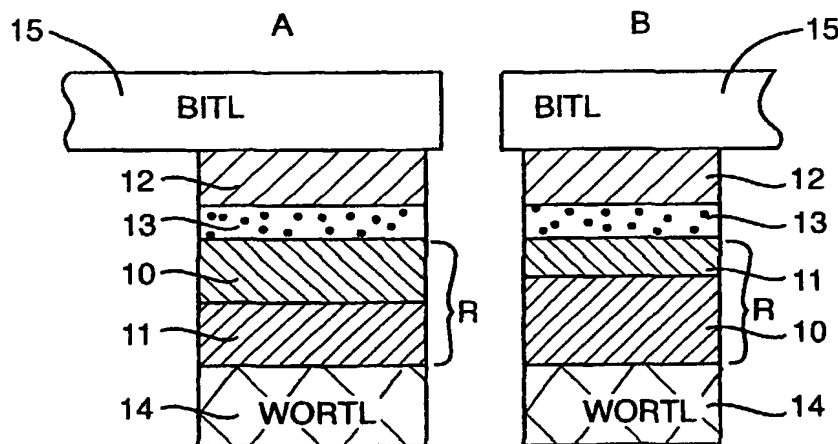
Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen
eintreffen

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING A REFERENCE LAYER AND AN MRAM MEMORY CELL PROVIDED WITH SAID
TYPE OF REFERENCE LAYER

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINER REFERENZSCHICHT UND MIT EINER DERARTIGEN RE-
FERENZSCHICHT VERSEHENE MRAM-SPEICHERZELLE



(57) Abstract: The invention relates to a method for producing a reference layer for MRAM-memory cells and to a MRAM-memory cell provided with said type of reference layer. Said type of reference layer is made of two magnetically coupled layers having a different Curie temperature. When the first layer (10) is cooled from a temperature above the Curie temperature T_C^1 in an external magnetic field the magnetisation of the second layer (11) is orientated by means of a transition of a second order along the direction of the outer magnetic field. When the second layer (11) is cooled below the Curie temperature T_C^2 , said magnetisation is orientated by means of the antiferromagnetic coupling between both layers in an anti-parallel manner in relation to the first layer (10).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer Referenzschicht für MRAM-Speicherzellen und eine mit einer derartigen Referenzschicht ausgestattete MRAM-Speicherzelle. Eine derartige Referenzschicht besteht aus zwei magnetisch gekoppelten Schichten mit unterschiedlicher Curietemperatur. Beim Abkühlen von einer Temperatur oberhalb der Curietemperatur T_C^1 der ersten Schicht (10) in einem äußeren Magnetfeld richtet sich die Magnetisierung der zweiten Schicht (11) durch einen Phasenübergang zweiter Ordnung entlang der Feldrichtung des äußeren Magnetfeldes aus. Bei weiterem Abkühlen unterhalb der Curietemperatur T_C^2 der zweiten Schicht (11) richtet sich diese durch die antiferromagnetische Kopplung zwischen beiden Schichten antiparallel zur ersten Schicht (10) aus.



Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Beschreibung

Verfahren zur Herstellung einer Referenzschicht und mit einer derartigen Referenzschicht versehene MRAM-Speicherzelle

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer Referenzschicht für MRAM-Speicherzellen und eine MRAM-Speicherzelle, die eine in dieser Weise hergestellte Referenzschicht aufweist.

Eine MRAM-Anordnung beruht bekanntlich auf ferromagnetischer Speicherung mit Hilfe des TMR-Effektes (TMR = Tunnel-Magnet-Resistance). Die beiliegende Fig. 1 zeigt einen schematischen Querschnitt durch eine bekannte, diesen TMR-Effekt nutzende MRAM-Speicherzelle. Zwischen einer Bitleitung 5 und einer Wortleitung 4, die sich kreuzen, liegt die TMR-Speicherzelle, die aus einem Schichtstapel mit einer weichmagnetischen Schicht 2, einer Tunneloxidschicht 3 und einer hartmagnetischen oder Referenzschicht besteht. Die Magnetisierungsrichtung (Pfeil) der hartmagnetischen Schicht 1 ist vorgegeben, während die Magnetisierungsrichtung (Doppelpfeil) der weichmagnetischen Schicht 2 einstellbar ist, indem durch die Wortleitung 4 und die Bitleitung 5 entsprechende Ströme I , I' in unterschiedlichen Richtungen geschickt werden. Mit diesen Strömen kann die Magnetisierung der weichmagnetischen Schicht 2 parallel oder antiparallel zur Magnetisierungsrichtung der hartmagnetischen Schicht 1 gepolt werden. Bei paralleler Magnetisierung der beiden Schichten 1 und 2 ist der Widerstandswert des Schichtstapels niedriger als bei antiparalleler Magnetisierung, was als Zustand "0" bzw. "1" oder umgekehrt ausgewertet werden kann.

Da die Nettomagnetisierung der Referenzschicht das Gesamtverhalten der MRAM-Speicherzelle bestimmt, ist es wünschenswert, diese Nettomagnetisierung bei der Herstellung von MRAM-Speicherzellen gezielt einstellbar zu machen.

Es ist demnach Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur Herstellung einer Referenzschicht für MRAM-Speicherzellen und eine mit einer derart hergestellten Referenzschicht ausgestattete MRAM-Speicherzellen so anzugeben, dass sich die Nettomagnetisierung der Referenzschicht und damit das Gesamtverhalten der MRAM-Speicherzelle gezielt einstellen lässt.

Ein diese Aufgabe lösendes Verfahren zur Herstellung einer Referenzschicht für MRAM-Speicherzellen ist erfindungsgemäß gekennzeichnet durch folgende Schritte:

- (A) für die Referenzschicht wird ein Schichtsystem bereitgestellt, das eine durch ein äußeres Magnetfeld dauermagnetisierbare erste Schicht eines Materials mit einer ersten Curietemperatur T_c^1 und eine zweite durch antiferromagnetische Kopplung mit der ersten Schicht magnetisierbare Schicht eines Materials mit einer zweiten Curietemperatur T_c^2 aufweist, die deutlich geringer ist als die erste Curietemperatur T_c^1 ;
- (B) ein äußeres Magnetfeld wird erzeugt;
- (C) das Schichtsystem wird von einer Temperatur oberhalb der ersten Curietemperatur T_c^1 unter Einwirkung des äußeren Magnetfelds bis unter die erste Curietemperatur T_c^1 abgekühlt, wobei die Feldstärke des äußeren Magnetfelds größer als die Sättigungsfeldstärke der ersten Schicht ist, so dass sich die Magnetisierung der ersten Schicht durch einen Phasenübergang zweiter Ordnung entlang der Feldrichtung des äußeren Magnetfeldes ausrichtet; und
- (D) das Schichtsystem wird anschließend unter die zweite Curietemperatur T_c^2 abgekühlt, wobei sich die Magnetisierung der zweiten Schicht aufgrund antiferromagnetischer Kopplung zwischen der ersten und zweiten Schicht und antiparallel zur Magnetisierung der ersten Schicht ausrichtet.

Demnach wird für die Referenzschicht ein, zum Beispiel symmetrischer, künstlicher Antiferromagnet (AAF) vorgeschlagen, der die zwei antiferromagnetisch gekoppelten Schichten auf-

weist, die sich in ihrer Curietemperatur unterscheiden. Beim Abkühlen von einer Temperatur oberhalb der ersten Curietemperatur T_c^1 in einem von außen angelegten Magnetfeld richtet sich die Magnetisierung der ersten Schicht des Schichtsystems durch einen Phasenübergang zweiter Ordnung entlang der Feldrichtung des äußeren Magnetfelds aus, sofern die äußere Feldstärke größer als die Sättigungsfeldstärke für die erste Schicht ist. Bei weiterem Abkühlen bis unterhalb der zweiten Curietemperatur T_c^2 richtet sich die Magnetisierung der zweiten Schicht durch die antiferromagnetische Kopplung zwischen den beiden Schichten antiparallel zur Magnetisierungsrichtung der ersten Schicht aus. Dadurch bilden die beiden Schichten, das heißt die erste und die zweite Schicht einen künstlichen Antiferromagneten (AAF).

Entscheidend ist die Erzeugung der Magnetisierungsverteilung in der zweiten Schicht durch den Phasenübergang zweiter Ordnung bei der niedrigeren Curietemperatur T_c^2 der zweiten Schicht. Die in der ersten Schicht vorhandene Magnetisierungsverteilung wird dabei durch die vorhandene Kopplung (antiparallel) durch antiferromagnetische Kopplung auf die zweite Schicht übertragen.

Sind die Nettomagnetisierungen (Sättigungsfluss = Sättigungsmagnetisierung x Schichtquerschnitt) der ersten und zweiten Schicht jeweils entsprechend gewählt, kann eine Nettomagnetisierung des Schichtsystems von Null eingestellt werden, das heißt dass die Magnetisierung innerhalb des so erzeugten künstlichen Antiferromagneten damit weitgehend stabil gegen äußere Felder sein sollte, solange die magnetische Kopplung zwischen den einzelnen Schichten stark genug ist.

Weiterhin kann die Nettomagnetisierung des Schichtsystems auch gezielt steuerbar eingestellt werden, indem zum Beispiel die Sättigungsmagnetisierung oder der Schichtquerschnitt der zweiten Schicht geringer gewählt ist als die

bzw. der der ersten Schicht. Wenn man somit auf den Vorteil eines symmetrischen künstlichen Antiferromagneten verzichtet, bei dem gleicher Sättigungsfluss der beiden Schichten vorliegt, kann man den vorgeschlagenen Schichtaufbau zur Herstellung eines inversen künstlichen Antiferromagneten benutzen. In der TMR-Speicherzelle befindet sich dann die dünnere Schicht in Kontakt mit der Tunnelbarriere. Das bei dem üblichen Aufbau bestehende Problem, dass zurückbleibende 360° -Wände das Signal schwächen, entfällt, da jede Schicht in sich gesättigt ist und deshalb keine 360° -Wände aufweist.

Eine im Schritt (C) erzielte homogene Magnetisierung der ersten Schicht kann auch durch Zwischenschichtkopplung auf die zweite Schicht übertragen werden. Das heißt, dass im Schritt (A) ein Schichtsystem bereitgestellt wird, welches eine sehr dünne Zwischenkopplungsschicht zwischen der ersten und zweiten Schicht aufweist. Dies hat unter anderem den Vorteil, dass bei gesättigter erster Schicht in der zweiten Schicht keine 360° -Wände auftreten.

Für die erste Schicht und die zweite Schicht des vorgeschlagenen Schichtsystems sind insbesondere folgende Materialkombinationen bevorzugt:

- (a) Erste Schicht: $(\text{Co}, \text{Fe}, \text{Mn})_{80}(\text{Si}, \text{B})_{20}$ mit der Curietemperatur $T_c^1 = 485^\circ\text{C}$ und zweite Schicht: $(\text{Co}, \text{Fe}, \text{Mo})_{73}(\text{Si}, \text{B})_{27}$ mit der Curietemperatur $T_c^2 = 210^\circ\text{C}$. Mit dieser Materialkombination wird insgesamt ein Weich/Weich-Magnetisierungsverhalten erreicht.
- (b) Erste Schicht: $(\text{Co}, \text{Fe})_{83}(\text{Si}, \text{B})_{17}$ mit der Curietemperatur $T_c^1 = 415^\circ\text{C}$ und zweite Schicht: $(\text{Ni}, \text{Fe})_{78}(\text{Si}, \text{B}, \text{C})_{22}$ mit der Curietemperatur $T_c^2 = 260^\circ\text{C}$. Diese Materialkombination ermöglicht ein magnetostriktives Verhalten des Schichtsystems.

(c) Erste Schicht: $\text{Tb}_{20}\text{Fe}_{40}\text{Co}_{40}$ mit der Curietemperatur $T_c^1 = 400^\circ\text{C}$ und zweite Schicht: $\text{Tb}_{20}\text{Fe}_{80}$ mit der Curietemperatur $T_c^2 = 150^\circ\text{C}$. Dies ermöglicht ein ferrimagnetisches Verhalten des Schichtsystems.

Materialien der Zwischenschicht können Ruthenium, Kupfer oder Gold sein.

Die magnetische Kopplung zwischen der ersten Schicht und der zweiten Schicht hängt von der Dicke der Zwischenschicht ab, die so gewählt sein muss, dass die antiferromagnetische Kopplung stattfindet.

Eine mit diesem Verfahren hergestellte Referenzschicht und eine mit einer derartigen Referenzschicht ausgestattete MRAM-Speicherzelle weist insbesondere folgende Vorteile auf:

- gezielte Einstellung der Magnetisierungsverteilung in den Einzelschichten;
- verschwindende Nettomagnetisierung bzw. eine durch Wahl der Sättigungsmagnetisierung und der Dicke der ersten und zweiten Schicht steuerbare Nettomagnetisierung des Schichtsystems;
- beim Einfrieren der ersten Schicht ist die Magnetisierung der zweiten Schicht nicht aktiv (oberhalb T_c^2);
- Übertragung der homogenen Magnetisierung von der ersten Schicht auf die zweite Schicht durch die erwähnte Zwischenschichtkopplung. Dies hat unter anderem den Vorteil, dass bei gesättigter erster Schicht in der zweiten Schicht keine 360° -Wände auftreten sollten;
- verzichtet man auf den Vorteil des symmetrischen künstlichen Antiferromagneten, bei dem ein gleicher Sättigungsfluss der beiden Schichten vorhanden ist, kann man den vorgeschlagenen Schichtaufbau zur Herstellung eines inversen künstlichen Antiferromagneten benutzen. Das bei dem üblichen Aufbau einer MRAM-Speicherzelle bestehende Problem, dass zurückbleibende 360° -Wände das Signal schwächen,

entfällt, da jede Schicht in sich gesättigt ist und deshalb keine 360°-Wände aufweist.

Die nachfolgende Beschreibung beschreibt, Bezug nehmend auf die Zeichnung, Ausführungsbeispiele eines erfindungsgemäßen Verfahrens und einer mit einer solchen Referenzschicht ausgestatteten MRAM-Speicherzelle. Die Zeichnungsfiguren zeigen im einzelnen:

- Fig. 1 in einem schematischen Querschnitt die bereits erläuterte bekannte Struktur einer MRAM-Speicherzelle;
- Fig. 2A und 2B schematische Querschnitte durch ein erstes und ein zweites Ausführungsbeispiel einer eine erfindungsgemäß hergestellte Referenzschicht aufweisenden MRAM-Speicherzelle;
- Fig. 3 in schematischem Querschnitt ein drittes Ausführungsbeispiel einer weiteren mit einer anderen erfindungsgemäßen Referenzschicht ausgestatteten MRAM-Speicherzelle und
- Fig. 4 schematisch ein Diagramm zur Erläuterung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung der Referenzschicht.

Bei den in Fig. 2A und 2B schematisch veranschaulichten erfindungsgemäßen MRAM-Speicherzellen liegt zwischen einer Wortleitung (WORTL)14 und einer Bitleitung (BITL)15 ein Schichtenstapel bestehend aus zwei Schichten 10 und 11, die ein erfindungsgemäßes Referenzschichtsystem R bilden, einer Tunnelbarriere 13 und einer weichmagnetischen Schicht 12. In Fig. 2A haben die erste Schicht 10 und die zweite Schicht 11 des Schichtsystems R jeweils die gleiche Sättigungsmagnetisierung und den gleichen Schichtquerschnitt, so dass sich

eine Nettomagnetisierung des Schichtsystems R zu Null ergibt.

Dagegen weisen in Fig. 2B die erste Schicht 10 und die zweite Schicht 11 des Schichtsystems R der Referenzschicht eine unterschiedliche Nettomagnetisierung auf, indem der Schichtquerschnitt der zweiten Schicht 11 kleiner gewählt ist als der der ersten Schicht 10. Die dünnere zweite Schicht 11 befindet sich im Kontakt mit der Tunnelbarriere 13. Da jede Schicht, das heißt die erste Schicht 10 und die zweite Schicht 11 in sich gesättigt sind und deshalb keine 360°-Wände aufweisen, entfällt das beim bekannten Aufbau einer MRAM-Speicherzelle bestehende Problem, dass zurückbleibende 360°-Wände das Signal schwächen.

Bei dem in Fig. 3 in Form eines schematischen Querschnitts dargestellten dritten Ausführungsbeispiel hat das Schichtsystem R' der Referenzschicht einen Aufbau aus einer ersten Schicht 100, einer dünnen Zwischenkopplungsschicht 102 und einer zweiten Schicht 101. Durch diese Zwischenkopplungsschicht 102 wird die homogene Magnetisierung der ersten Schicht 100 auf die zweite Schicht 101 durch die Kopplung der Zwischenkopplungsschicht 102 übertragen. Dadurch treten bei gesättigter erster Schicht in der zweiten Schicht keine 360°-Wände auf. Im übrigen hat die in Fig. 3 schematisch dargestellte, dem dritten Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen MRAM-Speicherzelle entsprechende Struktur den gleichen Aufbau wie das in Fig. 2A gezeigte erste Ausführungsbeispiel.

In Fig. 4 ist diagrammartig das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung einer Referenzschicht für MRAM-Speicherzellen veranschaulicht.

Für die Referenzschicht R bzw. R' wird ein Schichtsystem bereitgestellt, das eine durch ein äußeres Magnetfeld magnetisierbare erste Schicht eines Materials mit einer ersten Cu-

rietemperatur T_c^1 und eine durch antiferromagnetische Kopplung mit der ersten Schicht magnetisierbare zweite Schicht eines Materials mit einer zweiten Curietemperatur T_c^2 aufweist, die deutlich geringer als die erste Curietemperatur T_c^1 . Die Temperaturachse T zeigt diese beiden Curietemperaturen T_c^1 und T_c^2 . Zum Zeitpunkt t_1 wird das Schichtsystem R , R' von einer Temperatur T_0 oberhalb der ersten Curietemperatur T_c^1 bis unter die erste Curietemperatur T_c^1 abgekühlt, wobei sich dieses Schichtsystem R , R' in einem äußeren Magnetfeld B_1 (Pfeil) befindet. Dabei richtet sich die Magnetisierung der ersten Schicht 10 durch einen Phasenübergang zweiter Ordnung entlang der Feldrichtung des äußeren Magnetfelds B_1 aus. Voraussetzung dafür ist, dass die Feldstärke von B_1 größer als die Sättigungsfeldstärke der ersten Schicht 10 ist.

Bei weiterem Abkühlen kann das Magnetfeld B_1 abgeschaltet werden, und sobald zum Zeitpunkt t_2 die Temperatur T unter die Curietemperatur T_c^2 der zweiten Schicht 11 sinkt, richtet sich die Magnetisierung der zweiten Schicht 11 durch die antiferromagnetische Kopplung zwischen den beiden Schichten antiparallel zur ersten Schicht 10 aus. Dies bildet den künstlichen Antiferromagneten AAF. Wie erwähnt, und anhand der Fig. 3 beschrieben, kann die antiferromagnetische Kopplung der ersten Schicht auf die zweite Schicht auch durch Vorsehen einer Zwischenkopplungsschicht vermittelt werden.

Wie zum Zeitpunkt t_2 in Fig. 4 durch einen gestrichelten Pfeil veranschaulicht, kann zur Homogenisierung der Magnetisierungsverteilung in der zweiten Schicht 11 zusätzlich beim Durchgang durch T_c^2 ein Magnetfeld B_2 angelegt werden, dessen Feldrichtung entgegengesetzt zur Magnetisierung der ersten Schicht 10 ist, solange dies nicht zu einer Ummagnetisierung der in der ersten Schicht 10 eingepprägten Magnetisierung ausreicht. Dafür ist eine ausreichende Koerzitiv-Feldstärke der ersten Schicht bzw. ein ausreichend "rechteckiges" Schaltverhalten der ersten Schicht 10 notwendig. Um dies zu

erreichen, kann die Stabilität der Magnetisierung der ersten Schicht 10 über eine Kopplung zu einem natürlichen Antiferromagneten stabilisiert werden, dessen Neel-Temperatur oberhalb der zweiten niedrigeren Curietemperatur T_c^2 liegt.

Mögliche Schichtkombinationen für die erste Schicht und die zweite Schicht können sein

| Erste Schicht 10 (100) | T_c^1 | Zweite Schicht 11 (101) | T_c^2 | Besonderheit |
|--|---------|--|---------|------------------------|
| (Co, Fe, Mn) ₈₀ (Si, B) ₂₀ | 485°C | (Co, Fe, Mo) ₇₃ (Si, B) ₂₇ | 210°C | (weich/weich) |
| (Co, Fe) ₈₃ (Si, B) ₁₇ | 415°C | (Ni, Fe) ₇₈ (Si, B, C) ₂₂ | 260°C | (magneto- striktiv) |
| Tb ₂₀ Fe ₄₀ Co ₄₀ | 400°C | Tb ₂₀ Fe ₈₀ | 150°C | (ferri- magnetisch) |

Die oben erwähnte Zwischenschicht 102, die in Fig. 3 dargestellt ist, kann aus Ruthenium, Kupfer, Gold bestehen.

Bezugszeichenliste

| | |
|----------------|--------------------------|
| 1; R; R' | Referenzschicht |
| 2; 12 | weichmagnetische Schicht |
| 3; 13 | Tunnelbarriere |
| 10; 100 | erste Schicht |
| 11; 101 | zweite Schicht |
| 102 | Zwischenkopplungsschicht |
| 14 | Wortleitung |
| 15 | Bitleitung |
| T_c^1, T_c^2 | Curietemperaturen |
| B1, B2 | Magnetfelder |
| t1, t2 | Zeiten |

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer Referenzschicht für MRAM-Speicherzellen,

g e k e n n z e i c h n e t durch folgende Schritte:

- (A) für die Referenzschicht wird ein Schichtsystem bereitgestellt, das eine durch ein äußeres Magnetfeld dauermagnetisierbare erste Schicht (10; 100) eines Materials mit einer ersten Curietemperatur (T_c^1) und eine zweite durch antiferromagnetische Kopplung mit der ersten Schicht magnetisierbare Schicht (11; 101) eines Materials mit einer zweiten Curietemperatur (T_c^2) aufweist, die deutlich geringer ist als die erste Curietemperatur (T_c^1);
- (B) ein äußeres Magnetfeld (B1) wird erzeugt;
- (C) das Schichtsystem (R; R') wird von einer Temperatur oberhalb der ersten Curietemperatur (T_c^1) unter Einwirkung des äußeren Magnetfelds (B1) bis unter die erste Curietemperatur (T_c^1) abgekühlt, wobei die Feldstärke des äußeren Magnetfelds (B1) größer als die Sättigungsfeldstärke der ersten Schicht (10; 100) ist, so dass sich die Magnetisierung der ersten Schicht (10; 100) durch einen Phasenübergang zweiter Ordnung entlang der Feldrichtung des äußeren Magnetfeldes ausrichtet; und
- (D) das Schichtsystem (R, R') wird anschließend unter die zweite Curietemperatur (T_c^2) abgekühlt, wobei sich die Magnetisierung der zweiten Schicht (11; 101) aufgrund antimagnetischer Kopplung zwischen der ersten und zweiten Schicht (10; 100 und 11; 101) antiparallel zur Magnetisierung der ersten Schicht (10; 100) ausrichtet.

2. Herstellverfahren nach Anspruch 1,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass die Nettomagnetisierung des Schichtsystems (R; R') durch die Wahl des Sättigungsflusses, insbesondere des Schichtquerschnitts jeweils der ersten und zweiten Schicht (10; 100 und 11; 101) eingestellt wird.

3. Herstellungsverfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Nettomagnetisierung des Schichtsystems (R; R') durch die jeweils gleiche Nettomagnetisierung der ersten Schicht (10; 100) und der zweiten Schicht (11; 101) zu Null eingestellt wird.

4. Herstellungsverfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Nettomagnetisierung des Schichtsystems (R; R') durch Auswahl der zweiten Schicht (11) so dass deren Schichtquerschnitt geringer ist als der der ersten Schicht (10; 100) ungleich Null eingestellt wird.

5. Herstellungsverfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im Schritt (D) beim Durchgang durch die zweite Curie-temperatur (T_c^2) ein äußeres Magnetfeld (B2) angelegt wird, dessen Feldrichtung entgegengesetzt zur Magnetisierungsrichtung der ersten Schicht (10; 100) ist.

6. Herstellungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass im Schritt (A) ein Schichtsystem (R') bereitgestellt wird, das eine sehr dünne Zwischenkopplungsschicht (102) zwischen der ersten und zweiten Schicht (100 und 101) aufweist und dass die antiferromagnetische Kopplung in Schritt (D) durch die Zwischenkopplungsschicht (102) vermittelt wird.

7. Herstellungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Material der ersten Schicht (10; 100) gewählt ist aus der Gruppe, die $(\text{Co, Fe, Mn})_{80}(\text{Si, B})_{20}$; $(\text{Co, Fe})_{83}(\text{Si, B})_{17}$; $\text{Tb}_{20}\text{Fe}_{40}\text{Co}_{40}$ aufweist,

und dass das Material der zweiten Schicht gewählt ist aus der Gruppe, die $(\text{Co, Fe, Mo})_{73}(\text{Si, B})_{27}$; $(\text{Ni, Fe})_{78}(\text{Si, B, C})_{22}$; $\text{Tb}_{20}\text{Fe}_{80}$ aufweist.

8. Herstellverfahren nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Material der Zwischenkopplungsschicht (102) gewählt ist aus der Gruppe, die Ruthenium, Kupfer, Gold aufweist.

9. MRAM-Speicherzelle,
dadurch gekennzeichnet,
dass sie eine Referenzschicht aufweist, die aus einem Schichtsystem (R; R') besteht; das eine erste Schicht (10; 100) eines Materials mit einer ersten Curietemperatur (T_c^1) und eine zweite Schicht (11; 101) eines Materials mit einer zweiten Curietemperatur (T_c^2) aufweist, die deutlich unter der ersten Curietemperatur (T_c^1) liegt, und
dass die Referenzschicht durch das in einem der Ansprüche 1 bis 8 beschriebene Verfahren hergestellt ist.

1/2

Fig. 1

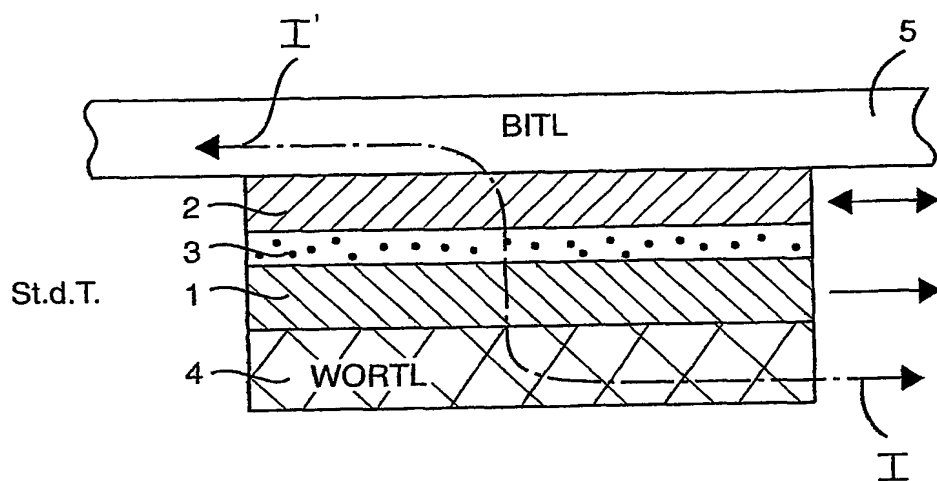
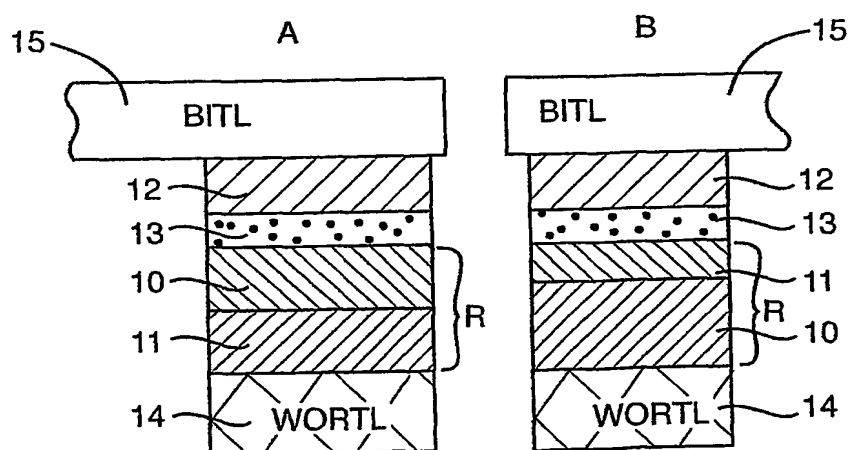


Fig. 2



2/2

Fig. 3

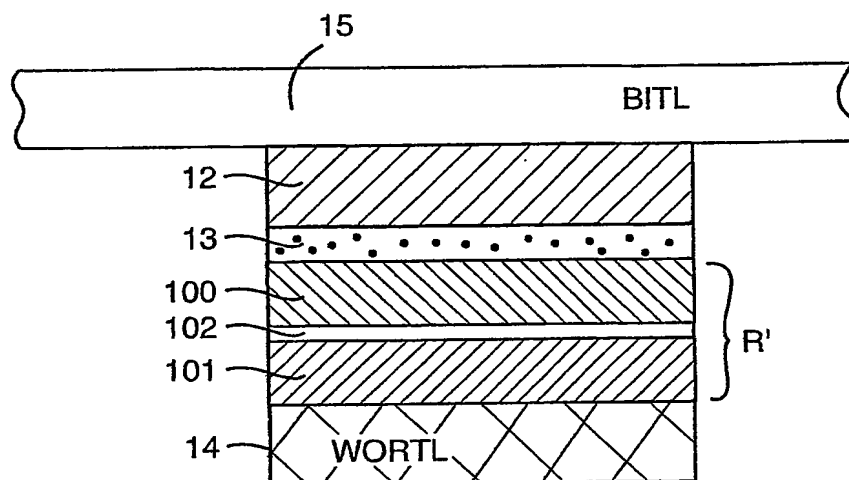
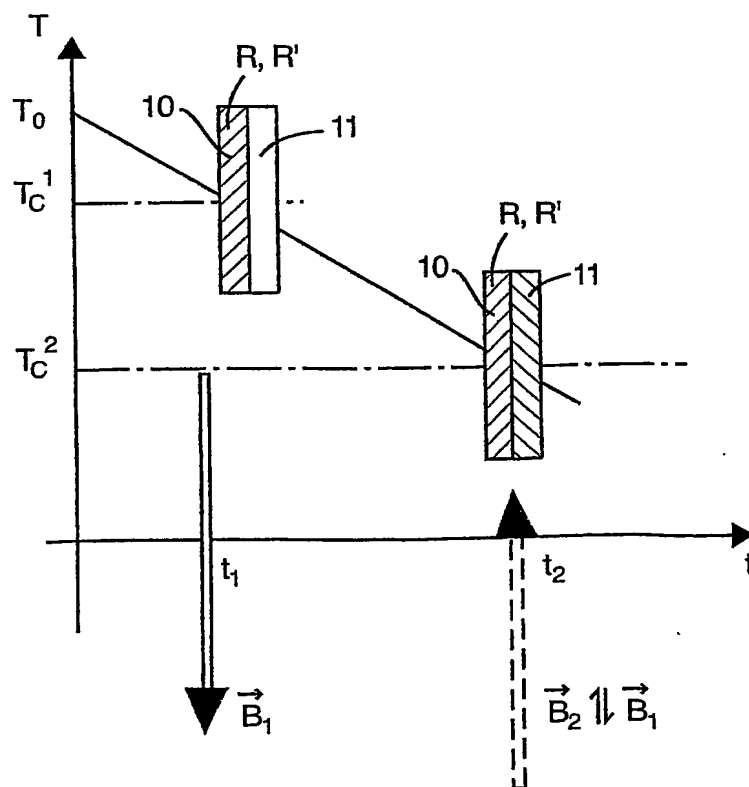


Fig. 4



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/DE 03/00775

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G11C11/16 H01F41/30 H01F41/32 H01F10/32

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G11C H01F H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|------------|--|-----------------------|
| A | WO 00 02006 A (BERG HUGO VAN DEN ;MATTHEIS ROLAND (DE); SIEMENS AG (DE)) 13 January 2000 (2000-01-13) page 5, line 23 -page 6, line 19 page 13, line 21 -page 14, line 34; figure 8 | 1,6 |
| A | US 5 686 838 A (VAN DEN BERG HUGO) 11 November 1997 (1997-11-11) column 6, line 11-35 column 6, line 60 -column 7, line 28; figure 1 column 10, line 55-58 --- -/-- | 1-3,6,8 |

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *Z* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

27 August 2003

Date of mailing of the international search report

03/09/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Reder, M

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/DE 03/00775

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category ° | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|------------|---|-----------------------|
| A | EP 1 187 103 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD) 13 March 2002 (2002-03-13) abstract; figures 1,2 paragraphs '0041!-'0043! examples 1,8,9 paragraphs '0006!', '0007!', '0010!', '0011!', '0013!', '0019! ----- | 1,2,4, 6-9 |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 03/00775

| Patent document cited in search report | | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|---|---|---------------------|----------------------------|---------------------|
| WO 0002006 | A | 13-01-2000 | DE 19830344 A1 | 20-01-2000 |
| | | | WO 0002006 A2 | 13-01-2000 |
| | | | EP 1093587 A2 | 25-04-2001 |
| | | | JP 2002519873 T | 02-07-2002 |
| | | | US 2001020847 A1 | 13-09-2001 |
| US 5686838 | A | 11-11-1997 | DE 4243358 A1 | 23-06-1994 |
| | | | AT 137866 T | 15-05-1996 |
| | | | WO 9415223 A1 | 07-07-1994 |
| | | | DE 59302536 D1 | 13-06-1996 |
| | | | EP 0674769 A1 | 04-10-1995 |
| | | | ES 2086993 T3 | 01-07-1996 |
| | | | JP 2846472 B2 | 13-01-1999 |
| | | | JP 7509811 T | 26-10-1995 |
| EP 1187103 | A | 13-03-2002 | CN 1359099 A | 17-07-2002 |
| | | | EP 1187103 A2 | 13-03-2002 |
| | | | JP 2002190630 A | 05-07-2002 |
| | | | US 2002036877 A1 | 28-03-2002 |

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 G11C11/16 H01F41/30 H01F41/32 H01F10/32

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 G11C H01F H01L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
|------------|---|--------------------|
| A | WO 00 02006 A (BERG HUGO VAN DEN ;MATTHEIS ROLAND (DE); SIEMENS AG (DE)) 13. Januar 2000 (2000-01-13) Seite 5, Zeile 23 -Seite 6, Zeile 19 Seite 13, Zeile 21 -Seite 14, Zeile 34; Abbildung 8 | 1,6 |
| A | US 5 686 838 A (VAN DEN BERG HUGO) 11. November 1997 (1997-11-11) Spalte 6, Zeile 11-35 Spalte 6, Zeile 60 -Spalte 7, Zeile 28; Abbildung 1 Spalte 10, Zeile 55-58 | 1-3,6,8 |
| | -/- | |



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

27. August 2003

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

03/09/2003

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Reder, M

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
|------------|--|--------------------|
| A | EP 1 187 103 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD) 13. März 2002 (2002-03-13) Zusammenfassung; Abbildungen 1,2 Absätze '0041!-'0043! Beispiele 1,8,9 Absätze '0006!, '0007!, '0010!, '0011!, '0013!, '0019! ----- | 1,2,4, 6-9 |

| Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument | Datum der Veröffentlichung | Mitglied(er) der Patentfamilie | Datum der Veröffentlichung |
|--|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| WO 0002006 A | 13-01-2000 | DE 19830344 A1 | 20-01-2000 |
| | | WO 0002006 A2 | 13-01-2000 |
| | | EP 1093587 A2 | 25-04-2001 |
| | | JP 2002519873 T | 02-07-2002 |
| | | US 2001020847 A1 | 13-09-2001 |
| US 5686838 A | 11-11-1997 | DE 4243358 A1 | 23-06-1994 |
| | | AT 137866 T | 15-05-1996 |
| | | WO 9415223 A1 | 07-07-1994 |
| | | DE 59302536 D1 | 13-06-1996 |
| | | EP 0674769 A1 | 04-10-1995 |
| | | ES 2086993 T3 | 01-07-1996 |
| | | JP 2846472 B2 | 13-01-1999 |
| | | JP 7509811 T | 26-10-1995 |
| EP 1187103 A | 13-03-2002 | CN 1359099 A | 17-07-2002 |
| | | EP 1187103 A2 | 13-03-2002 |
| | | JP 2002190630 A | 05-07-2002 |
| | | US 2002036877 A1 | 28-03-2002 |

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☐ FADED TEXT OR DRAWING

☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.